熱帶實用化水耕栽培技術之探討 ～動態浮根式水耕系統之改良～

高德錚　張盛添　洪財生　梁純玲＊
台中區農業改良場

摘　要

為了落實水耕栽培技術，台中區農業改良場自從民國75年底完成動態浮根式水耕系統後，針對本省特殊的氣候，乃經２年來努力進一步開發一套組合式矮架網溫室及以保利龍為資材研製一種凹凸浪板式栽培床。此種矮架網溫室之優點為農家在購得相關組件後可自行搭建之；而凹凸浪板式栽培床之優點為養液之灌排流程僅20公尺，可不懼高氣溫之困擾，栽培床亦可無限制加長。最重要地，水耕植物係移栽於凹凸浪板之凸起處，在根系之生長過程中，其下方新生根會沿兩邊凹槽向下伸長，狀似倒Ｖ字型；因之隨著凹槽水位之調整，其上方根系將佈滿雪白之氣根，從此不再懼盛夏高水溫導致溶氧量低下及水耕植物生育不良之困擾；茲將改良後之動態浮根式水耕栽培技術組件規格及設計要項分述如下：

(一)動態浮根式水耕系統之栽培床，經改良為凹凸浪板式栽培床後，與原先之雙凹平底式栽培床（對照）相比，其優點有八項：
(1)較易維持養液溫度；(2)溶氧量高；(3)根系較發達；(4)缺株率較低；(5)不懼高水溫；(6)具豐產性；(7)養液消耗量較少；(8)耗電量較省。

(二)組合式矮架水耕專用網溫室之基本規格為長度7.2公尺，寬度2.13公尺，中間最高作業點180公分，及栽培床架高60公分之矮隧道型網溫室，此種網溫室之骨架體由¾" φ及½" φ之鍍鋅鐵管，再配合新開發之三種套管接頭及水平調整螺而組合之；其四周則以24網目之白色尼龍網罩之而屋頂及四周則以0.15㎜之透明塑膠布覆之。盛夏之際塑膠布上方另以40% PE 黑色網遮蔭之。以一般高架隧道式網溫室為對照，矮架網溫室之特性有七項：
(1)造價便宜且可自行構築；(2)抗颱風性佳；(3)通風性佳；(4)設施內無二氧化碳低落之現像；(5)室內外溫差較小；(6)室內外相對濕度差較小；(7)植物受光度較佳。

綜合上述之結果台中區農業改良場開發之改良型動態浮根式水耕栽培已具推廣性，在各項零組件商品化後，將有助於水耕栽培技術之早日落實於農村。

本文針對如何構築一套熱帶型水耕栽培系統詳述如下：

＊台中區農業改良場副研究員、助理、技工、技工。

一、前　言

盛夏之際室溫高達30～45℃，相對濕度卻低至40～50%及小菜蛾、白粉病等病蟲害頻繁之困擾，再加上颱風之豪雨侵襲，諸多因子均係導致本省發展設施園藝技術之困難。日本米嘉德公司為想擴展其水耕業務至熱帶地區，因之，在新加坡先行設置0.1ha之水耕農場，經測試結果發現，預冷至17℃之養液一旦流經25公尺長之栽培床後，回流時水溫已昇至28℃，而若養液不加預冷處理，則回流之養液溫度高達32°—34℃間。1989年在日本濱松召開之國際高科技設施園藝研討會中，日本松下公司發表一套造價新台幣60萬元面積84㎡之熱帶型水耕模擬農場，設施與一般溫帶水耕系統相異之處，乃在於利用電氣冷卻系統來降低養液溫度及利用空氣壓縮機強制地將空氣灌入養液中，藉以解決熱帶地區因氣溫高，而造成養液溫度隨之增高及溶氧量下降之困擾。誠然，松下公司熱帶型水耕系統之成功暗示著未來熱帶地區水耕栽培系統之動向；惟，該公司初步估算每1000㎡之設備費用卻高達新台幣450～500萬元，而且尚不包括溫室設施；甚至每日耗電量亦高達36～48度。換言之，利用電氣設備來克服熱帶地區發展水耕瓶頸的手段是行不通的。

熱帶地區因經年氣候炎熱，高水溫及低溶氧量是造成此地區經營水耕不具經濟性之兩大限制因子[1,2,4,5]。英國之古柏博士發現 NFT 水耕系統優於岩綿栽培法之主因，係因 NFT 系統允許植物形成裸根（naked　root）[7,8,9,10]。日本之山崎博士所開發浮根系統的優點亦在於可誘引植物形成濕中根（wet atmosphere rhizophere）[1,3]，使水耕植物之根系能直接利用濕空氣中之氧氣供為呼吸源。作者等在民國75年底提出之動態浮根式水耕系統之基本原理，亦在於利用空氣混入器及排液器之作用允許水耕植物在養液灌排過程中有４公分左右之上位根部曝露於濕空氣中而形成氣根系（Aero root），因之可不懼高水溫所引起之缺氧問題[6]。

台中區農業改良場自民國75年底開發完成動態浮根式水耕系統後，經２年來三十多位先進農民及總栽作面積達3.0公頃之試作成果顯示，誠然，動態浮根式系統已解決了熱帶地區無法經濟性栽種水耕植物之困境，唯技術上仍有諸多之困擾。首先，農友採用之網溫室不外乎為高架隧道式塑膠布網溫室或力霸鋼架式 FRP 浪板溫室兩種，由於內部空間太大，農友無法一次全部採收。因之，每日必需進入溫室內進行採收及移植作業，如此態勢下在不施用農藥之原則下，卻又無法避免病蟲之爲害，甚至盛夏之際爲了避免網溫室通風不良引起之高溫，許多附加之噴霧裝置、強制通風設備及遮陰裝置等設施——出籠，而增加了營運成本。再者，每年７～11月間颱風之侵襲，網溫室抗颱之能力亦是令人頭痛之問題。在栽培設施之缺失為(1)需定時調整每一單位栽培床內養液之水位，(2)移植後有缺株之虞及(3)栽培長度超過15公尺時溶氧量低下。因之針對上述之缺失，作者等以為一套適合本省氣候條件之實用化經濟型水耕栽培技術的設計準則，必需同時考慮到網溫室設施及栽培設施之均衡性，始有推廣落實於農村之可能性。換言之在網溫室設施方面需具備之要件為：(1)抗颱風性，(2)通風性，(3)冬暖夏涼性，(4)防蟲性，(5)一次採收性，(6)多層次立體化栽作性。而在栽培設施方面需具備之要件為：(1)栽培床具隔熱保溫性，(2)具誘引氣根性，(3)養液之溶氧量高，(4)具省能源養液循環再使用系統，(5)在水溫高達33～35℃下仍能正常生長及(6)採用移植栽培法。本文，因此針對如何構築一套熱帶型之水耕栽培系統。詳述如下

二、栽培設施之改善

在民國75年本場最早開發之動態浮根式水耕栽培系統中，其組成個體計有保利龍製栽培床、

空氣混入器及排液器等三種，針對上述之缺失乃進行下列之改善：

㈠排液器

在民國75年本場開發之動態浮根式水耕系統所用之養液自動昇降器，係安裝於單位栽培床之後方（圖１），而栽培床內水位高低之調整乃依內環螺旋式之昇降（圖２左）。此型之缺點為：(1)內環之昇降螺旋鬆緊不一，無法正確地控制水位，且有漏水之虞。(2)由於安裝於栽培床尾，進行水位調整時，需掀開栽培板，導致床尾部份之植物生育受損。因之，經改良過之排液器構造，如（圖２右）所示，為 ABS 塑膠射出成型的圓筒裝置，其中由外環及內環所組成。圓筒之外環直徑為10.5公分，固定高度為８公分，在圓筒下方左右有一對稱且直徑為２公分之排水口。內環亦為 ABS 材質之塑膠套環，其直徑為7.5公分。又內環係由四個厚度不一的套環所組成其厚度細分成３公分一個，２公分２個及１公分１個等三種。進行水位調整時，依實際需要將各套環組成而精確控制水位成 0～8 公分。

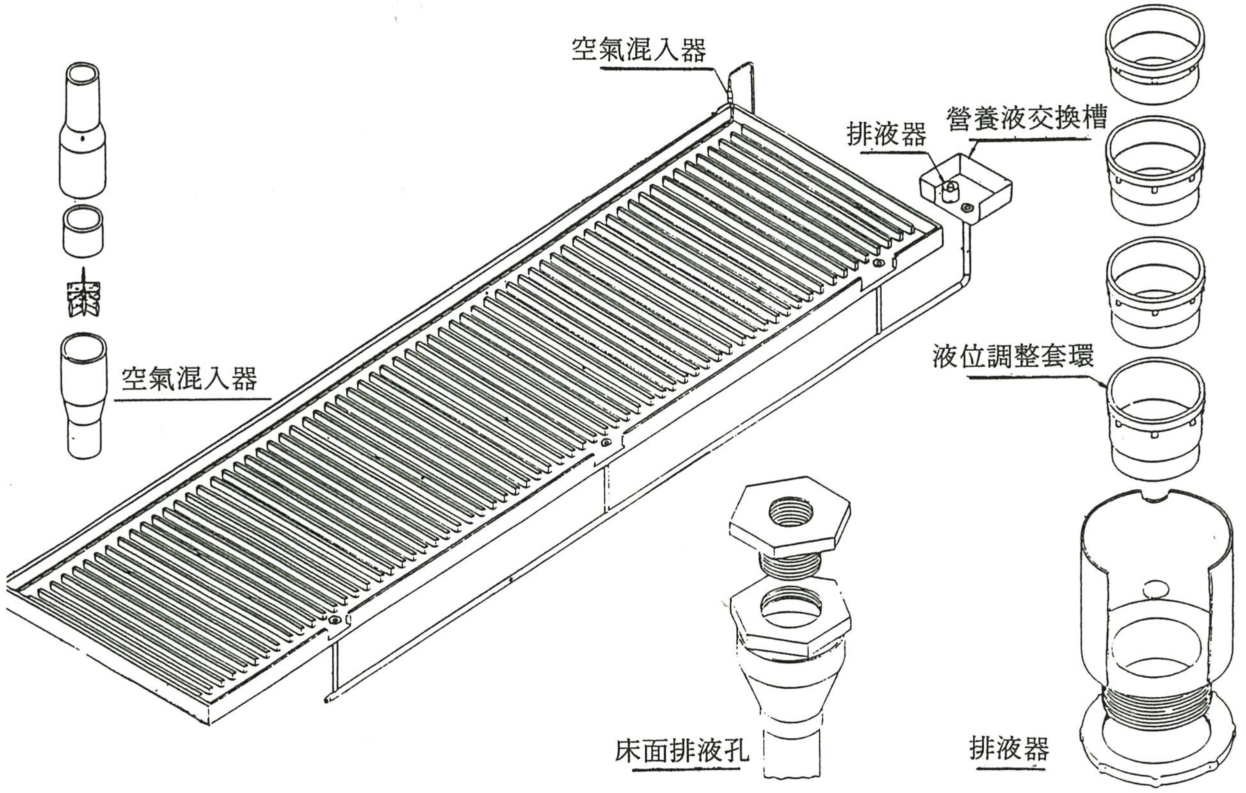

圖１　動態浮根式水耕系統之新型栽培床及養液灌排系統組件之配備示意

Fig. 1. The irrigation system in the DRF hydroponics.

在新型之排液器之內環係採用內套筒方式，因之無漏水之慮。再者，排液器不再安裝於栽培床上，而改置於養液交換槽中（圖１）。而交換槽係安裝於栽培床外，其高度水平於栽培床。換言之，栽培床中之養液由U型管之導引而進入交換槽中，再經由排液器之內環才流回地下之養液槽。

圖２　動態浮根式水耕系統之舊型（左）及新型排液器（右）構造

Fig. 2. The water level adjusters used in DRF hydroponics. Old model (left), new model (right).

㈡空氣混入器

在民國75年本場開發之動態浮根式水耕系統中所用之空氣混入器，係利用坊間水電材料行現成之 PVC 即材質¾″ ×½″ 口徑轉接頭相互接合而成。在接合處內管中加裝一組雙十字重疊之 ABS 塑膠閘門，且在½″ ϕ 接頭頸部斜鑽0.1公分對稱之兩個小孔，當初測定的結果此種空氣混入器流速每分鐘為4.0～6.0公升時，在30℃時其溶氧量可維持在5.4～6.2ppm間。唯此空氣混入器仍有下列之缺點：(1)當養液流量超過10ℓ時，過多之養液會由上方之兩孔射出；(2)最大溶氧量之增加效率僅30%，且無法達到當時溫度之飽和溶氧量。因之，在新型之空氣混入器之改良上，係採用 PVC 成型之組件，其內視構造如圖３。與早期空氣混入器之不同點在於空氣混入器內之雙十字重疊塑膠閘門，由原先0.2cm厚 ABS 平板塑膠閘門，改變成由 ABS 材質成型之螺旋漿片狀之十字型閘門，螺旋漿片又細分成2.0及2.3公分二種，在上方先接觸到

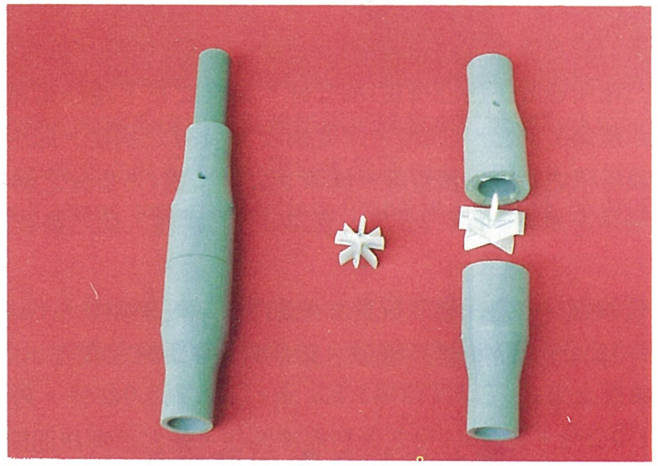

圖３　動態浮根式水耕系統之新型空氣混入器

Fig. 3. The aspirator used in DRF hydroponics.

養液之螺旋漿片，閘門為2.0公分，其下為2.3公分。至於空氣混入器之構成體則採用如太空艙式的兩個 PVC 材質之圓錐管，上方管內徑為½″：下方管為¾″，此圓錐管全長8.0公分，由¾″ φ 處算起3.5公分處斜屈延長為½″ φ。兩個圓錐管由¾″ φ 處互相接合，在接合前下方之圓錐管內先置入螺旋漿片閘門，片長2.0公分在上，2.3公分在下。接著，利用長3.0公分口徑為¾″ 之 PVC 管及 PVC 硬質膠水將之膠合。最後由接合處算起4.5公分處，以電鑽斜鑽二個對稱直徑為0.3公分之吸氣口，根據試驗成果顯示（如圖 4 ），新型之空氣混入器可耐每分30公升抽水馬達之水壓，且當流速達7.5～8.0公升／分時，即達當時溫度之飽和溶氧量。換言之，以 1HP 之抽水馬達，在不考慮揚水高度之消耗下，當可同時供給20支左右之空氣混入器。

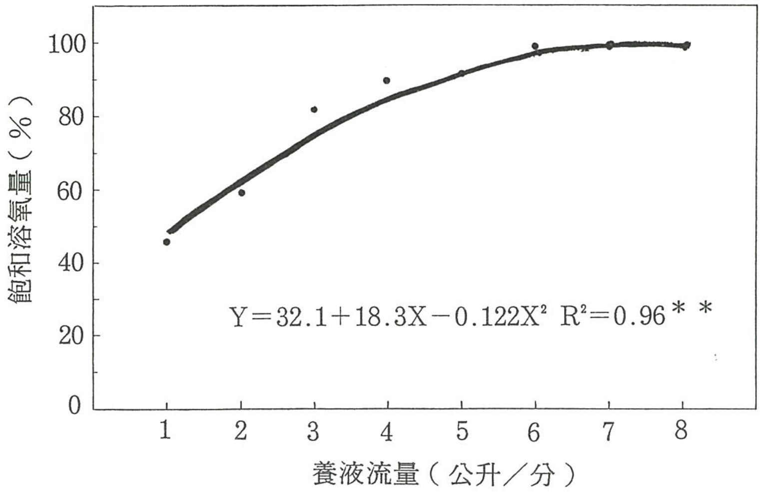

圖 4 養液強制通過空氣混入器之流量與其溶氧量變化之迴歸

Fig. 4. The regression equation of the nutrient flow rate vs DO variation.

㈢栽培床

經改良之栽培床的資材亦為保利龍製重1.8公斤（如圖 5 左），其規格長90.1公分寬201公分，內部由八條凹凸槽所組成，凹凸槽長189公分，其寬度在下緣凸起處寬3.0公分上部為2.1公分，兩凸槽間之距離為8.3公分，凹槽之深度係以 1：189 之斜度，即由右邊之 5 公分深斜至左邊之 6 公分。在栽培床之右邊另預留著一條深 3 公分，寬4.5公分之溝槽，供為安置養液噴射管用。並且在栽培床左邊有一深6.2公分、寬13公分之溝槽，此乃養液回流之通道。

㈣定植板

經改良之定植板的資材亦為保利龍製重0.48公斤（如圖 5 右中，下），其規格長90.1公分，寬88公分，厚度4.0公分。定植板內分佈 8×10=80個等距的定植穴，「每一栽培床配備定植板2片，又每一定植板上方之穴口直徑爲2.8公分，下方爲2.0公分。再者，在定植板下方每一穴口四周另由厚1.0公分，寬3.0公分之保利龍條圍住，使穴口與液面間有一8.3×5.8×1.0=48.1立方公分之空間。根據試驗結果顯示，新型之定植板可誘引較多之氣根（圖 6 ），使青梗白菜等在25° ～35℃液溫下其根部活性遠大於生長於舊型板者（詳如表 8 ）。

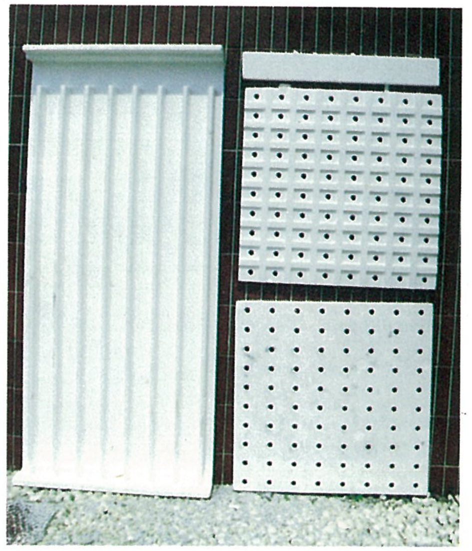

圖 5 動態浮根式水耕系統之新型栽培床（左），定植板反面（右中）定植板正面（右下）及排液溝板（右上）

Fig. 5. The culture system used in DRF hydroponics. Culture bed (left), panel (right).

圖 6 動態浮根式水耕系統之新型栽培床可誘使水耕植物形成倒V字型根系，而且上方露空之根系有較多雪白氣根系。

Fig. 6. The V shape aero-root system found in the DRF hydroponics.

㈤排液溝板

經改良之栽培床的左邊構槽上有一片厚度 4 公分，寬16公分，長90公分之排液溝板（圖 5 右上），此溝板之作用主要在於保持養液循環之通暢及避免因陽光直射于養液而著生青苔，並堵塞回流管。

三、栽培網溫室之改善

盛夏之際網溫室內之高溫、病蟲害之嚴重爲害及颱風豪雨之侵襲是最近這幾年來水耕試作農戶

之最大困擾，例如民國75年8月22日，韋恩颱將台糖溪湖糖廠的水耕農場夷為平地。又，大溫室內栽培面積至少在300～800㎡間，由於採用計畫生產，農友幾乎每日需進入溫室進行採收及移植作業，由於進出頻繁，又加上不噴施農藥，如此導致病蟲害之滋生。為了改善諸此弊端，因之，在水耕網溫室之設計上作了下列之改善：

㈠水耕專用網溫室結構：

針對本省海島型亞熱帶地區之氣候，及水耕栽培的特性，乃設計了如圖7及8之水耕專用網溫室。此種網溫室之主要結構體為½″ φ 及¾″ φ 之鍍鋅鐵管。配合本場自行開發之T型、十字型、L型接頭及水平調整紐（圖9）和坊間現成之½″ φ × ½″ φ 及½″ φ × ¾″ φ

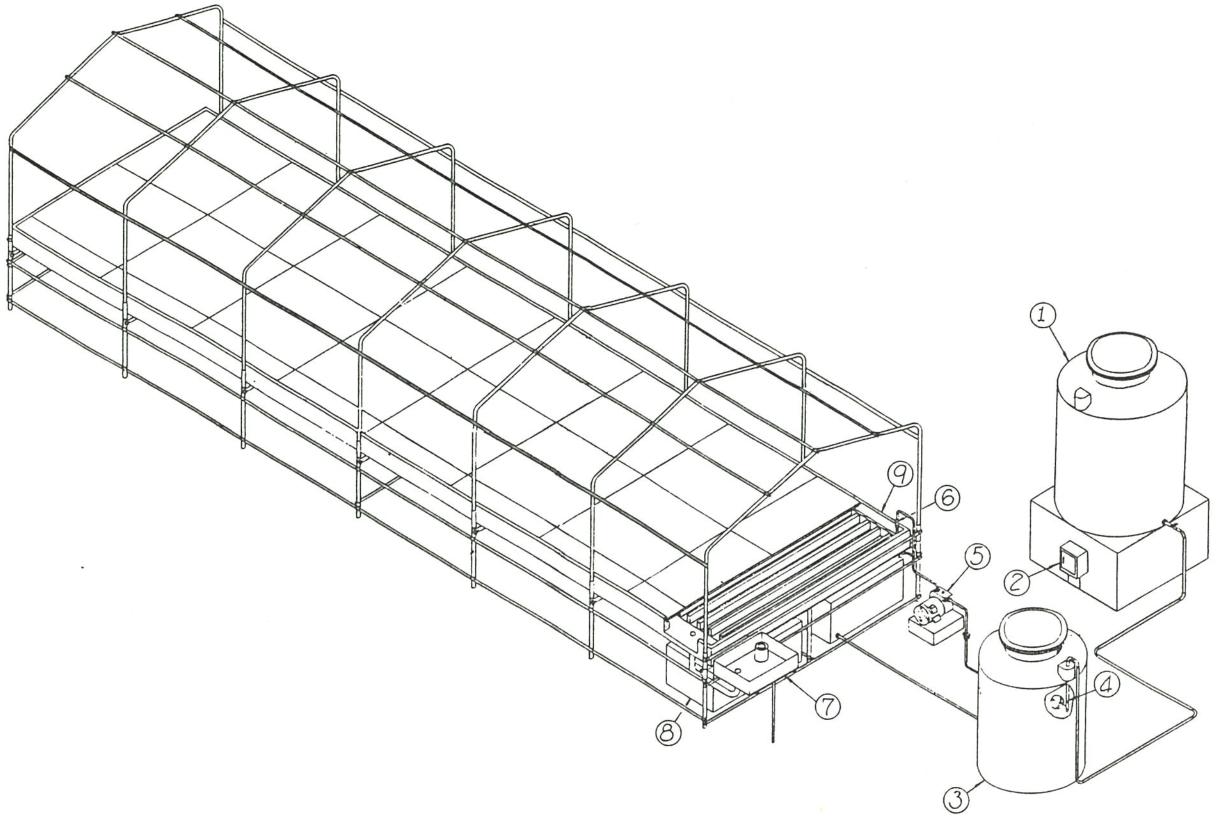

圖 7　動態浮根式水耕專用之矮架溫室之配備示意

Fig. 7. The components of the DRF hydroponics:

①養液自動控制用上槽	① upper nutrient tank for automatic adjustment
②養液噴灌用電源自動開關	② electric power and irrigation control box
③養液自動控制用下槽	③ lower nutrient tank for automatic adjustment
④浮球式水位控制器	④ ball type water level adjuster
⑤抽水幫浦	⑤ pump
⑥空氣混入器	⑥ aspirator
⑦營養液交換槽	⑦ nutrient level control box
⑧養液儲藏槽	⑧ nutrient tank
⑨栽培床，	⑨ culture bed

圖 8　動態浮根式水耕系統之栽培實況

Fig. 8. A standard culture system of the DRF hydroponics.

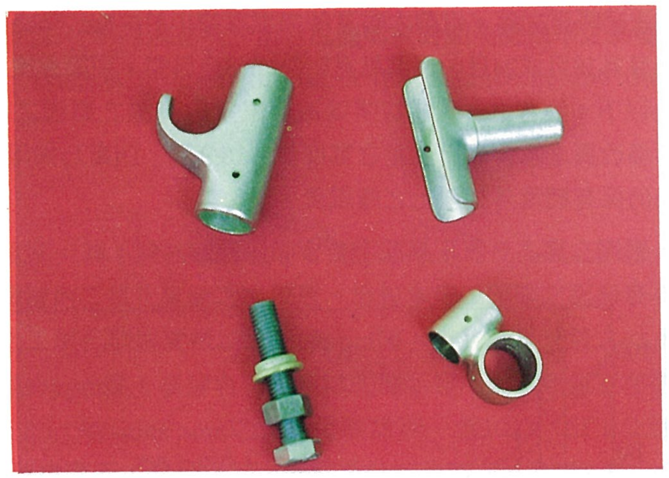

圖 9　動態浮根式水耕系統專用矮架組合式水耕專用溫室之四種接合用套件，下型接管（右上），L型接管（左上），十字型接管（右下）及水平調整紐（左下）

Fig. 9. The novel design of the tubular pipe joints used in DRF hydroponics. T-joint (right, up), L-joint (left, up), t-joint (right, down), water level adjuster joint (left, down).

之鋼管夾：塑膠布固定夾及壓條固定器，而成功地組合成一座水耕專用網溫室。網溫室上方以0.2mm之PVC或PE透明塑膠布罩之，以利於防雨栽培；四周則以24網目之白色尼龍網圍之，以為隔絕蟲害。本網溫室之特點乃採組合式，鐵管間之接合點係利用十字型、L型及T型接頭及螺絲，農民即可利用搭建之。本網溫室側高149公分，中央作業點高180公分，栽培架高60公分，為一角錐屋頂之結構體。此網溫室之栽培架係以每1.2公尺處有一支長度為2.13公尺¾″ φ 鍍鋅鐵管供為邊柱，並以¾″ φ 之鍍鋅鐵管及L型接頭做為水平橫向接管，而且在

橫向支桿中間另以 T 型接頭及¾″ φ 鍍鋅鐵管為中央承管，將橫向接管撐起。至於置於橫向接管上方之 5 支縱向接管口徑為½″ φ 的鍍鋅鐵管。直向管與橫向管間之接合係利用½″ × ¾″ 之鋼管夾固定之，至於屋頂部份，則以 M 字型之½″ φ 鍍鋅鐵管直接插入¾″ φ 之支柱中，而十字型接頭之作用係在網溫室側方¾″ φ與½″ φ 鍍鋅鐵管間之接合。又屋頂上方之透明塑膠布及四周尼龍網之固定，乃採用煥坤企業有限公司開發之壓條固定器及塑膠布（網）固定夾。在盛夏之際，為了減少日照量，及減少設施內之熱堆積，因之在網溫室上方加覆40～50%之黑色PE遮陰網。

㈡通風性：

目前坊間網溫室四周常用之尼龍網，大致為24目及16目兩種，前者為白色，後者為白色或綠色，其透風性多寡與網溫室之室溫高低有絕對之正相關性，由圖 10 及 11 之試驗成果可知，不論是24目或16目尼龍網，當風速在1.0m／sec或0.5m／sec之時，尼龍網具有阻風效應，使風速隨之下降，以16目尼龍網為例，當風速1.0／sec吹至網後1.35公尺左右時，通風量僅餘50%，即0.5m／sec；而風速0.5m／sec者，在網後1.23公尺時，通風量已降至0.25m／sec。至於24目尼龍網之阻風效應乃大於16目尼龍網，不論0.5m／sec或1.0m／sec，大致在網後1.33～1.35公尺處，風速已降至50%。目前本省夏季南風風速小於0.5m／sec而言，一般高架隧道網溫室四周尼龍網目為16目或24目，網溫室寬5.6～6.8公尺間，則網溫室中央之通風量必在於0.15～0.10m／sec以下。換言之，造成坊間隧道型溫室內高溫之原因之一，乃在於通風不良所致。因之，在本場改良之水耕專用溫室之寬度僅2.13公尺，四周乃採用24目之尼龍網，使盛夏之際，網室中央仍保有網室外½以上之通風量。

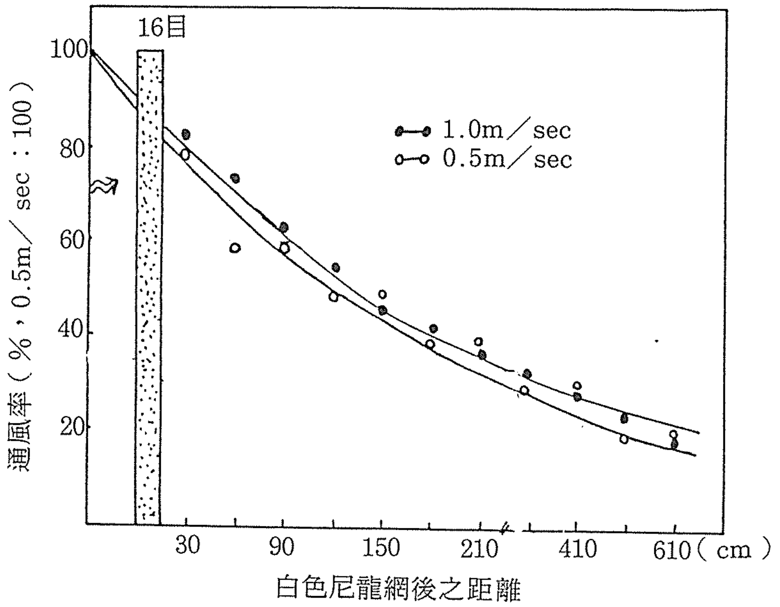

圖 10 不同風速吹經16目尼龍網後對網後通風率之影響

Fig. 10. Wind speed variation inside nethouse in the distances behind the 16 meshes of the white plastic net.

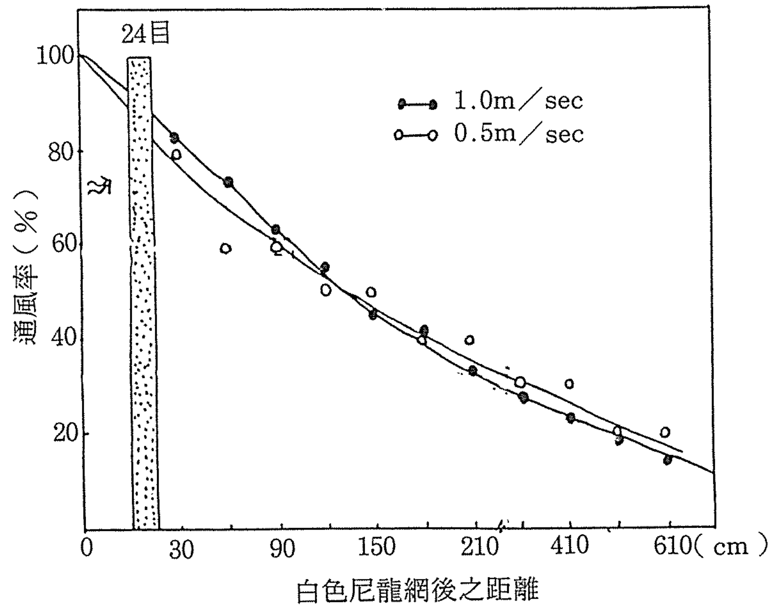

圖 11 不同風速吹經24目尼龍網後對網後通風率之影響

Fig. 11. Wind speed variation inside nethouse in the distance hehind the 24 meshes of the white plastic net.

㈢二氧化碳含量：

高架隧道式網溫室，若不採強制通風則會發生通風不良及高溫之困擾，甚至在上午10時至下午14時間亦發生網室內二氧化碳缺乏之問題。根據本場二年來之記錄發現（表 1），高架隧道式網溫室在白天之二氧化碳濃度僅270～310ppm間，僅為室外大氣之81.8%～88.6%間，而矮架溫室則在325～345ppm間。根據台中區農業改良場利用人工氣候室在密閉環境下施放二氧化碳之處理顯示（表 2），若以350ppm之二氧化碳處理，當100%（57.0公克／株）則在280ppm及700ppm之二氧化碳處理下，白菜之地上部鮮重分別為72.5%及186.1%。此原因乃增施二氧化碳至700ppm則地上部之光合作用能力由對照350ppm處理之100%（毫克CO_2／分，株），增至142.2%，且根部活性由對照84.9毫克CO_2／分、株增加了33.7%，而在280ppm之處理中地上部光合作用能力及根部活性則比對照分別減少了25.9%及24.7%。換言之，通風不良致使網室內外空氣無法互相流通，而發生的二氧化碳低落的現象，亦為夏季設施內作物產量不高的原因之一。在台中區農改場改良之矮架溫室中，因通風性較佳，將不致發生設施內二氧化碳低落

表 1 網室結構別對其設施內CO_2濃度之影響

Table 1. The CO_2 concentration variation in different framework of the nethouse.

網 室 別	設施內CO_2濃度（ppm）
高 架	270～310
矮 架	325～345
大 氣（對照）	330～350

表 2 二氧化碳濃度對白菜生育之影響
Table 2. Effects of the CO_2 concentration on the growth of Pai-Tsai.

CO_2處理（ppm）	地上部鮮重（公克／株）	光合成能力（毫克CO_2／分，株）	根部活性（毫克CO_2／分，株）
280	37.5	172.4	63.9
350	51.7	241.2	84.9
700	96.2	342.9	113.5

之現象，甚至若在單邊加上一座14″～18″之工業用通風扇，進行強制抽風或送風，將更能徹底解決通風性之問題。

㈣設施內微氣象：

熱帶地區終年氣候炎熱，周年高低溫在38～25℃間，若沿用溫帶地區適用之玻璃溫室，將會因溫室效應（Greenhouse effect）致使溫室內氣溫提昇至40～50℃間而無法種植。再者，以現行本省夏季設施栽培時常利用黑色遮蔭網外罩於溫室上方或溫室內平張於作物上方，藉以降低入射日照量而為降低室溫之手段。事實上，如表 3 所示，若以 3 座規格為長30公尺，寬 8 公尺，側肩高3.0公尺及中間作業點高4.5公尺之玻璃溫室為測試標的，而分別以80%之PE遮蔭網外罩於玻璃上，或平張於溫室內作物上方3.0公尺或不遮蔭為處理。經測試其入射日照量、氣溫及相對濕度後，發現不論內遮蔭或外遮蔭之處理，主要在降低入射量，即當大氣之日照量為154.0klux時，不遮蔭之對照溫室為126.0klux，內遮蔭者為34.8klux而外遮蔭者最少為11.3klux；而在氣溫方面，則以不遮蔭之溫室，室溫最高為42.7℃，其次為內遮蔭之39.6℃，外遮蔭之38.1℃及大氣之36.5℃；至於相對濕度之表現則以大氣之58.8%最高，其次為外遮蔭之51.5%，內遮蔭之48.6%及不遮蔭之46.7%。換言之，遮蔭之作用僅在於降低入射量，若溫室之通風性差則室溫仍會高於大氣 3～6℃而造成室內之相對濕度比大氣少10～12%。因之，單就遮蔭而言，其降低溫室內室溫之效果不彰。就表 3 之例而言，以80%PE網遮蔭處理後室溫仍高於大氣1.6～3.1℃，而入射日照量卻低至11.3klux及34.8klux，如此會導致植物因高溫及日照量不足而無法正常生長。

在熱帶地區構築溫室之必要條件首重於通風性，即採用網溫室，且避免連棟構築；並在盛夏之際加上40%之外覆PE遮蔭網，其通風效率最佳。以表 4 之結果為例，若採用長16公尺，

表 3 張覆PE遮蔭網對玻璃溫室內氣象因子之影響
Table 3. The microclimatic factors changes in the glasshouse by the black PE net shading treatments.

玻璃溫室條件	日照量（Klux）	室溫（℃）	相對濕度（%）
內遮蔭80%	34.8	39.6	48.6
外遮蔭80%	11.3	38.1	51.5
不遮蔭對照	126.0	42.7	46.7
溫室外對照	154.0	36.5	58.8

寬6.6公尺，側肩高2.5公尺及中間作業點高3.6公尺之網室為測試標的，此網室上方覆以0.2mm PVC透明塑膠布，其上再罩以40%黑色PE遮蔭網，而網室四周以24目之白色尼龍網圍之。經測試結果則以外遮蔭40%之處理，除日照度23.6klux低於大氣之120.0klux外，室溫35.1℃比大氣之36.5℃為低。而相對濕度為59.5%略高於大氣之58.7%。至於內遮蔭處理與不遮蔭兩者之室溫與相對溼度相似，僅入射日照量71.4klux較不遮蔭之89.6klux為低。換言之，網溫室之結構由於四周以24目尼龍網圍之，故其通風性較玻璃溫室為佳。因之，屋頂上適量之遮蔭可使室溫近似於大氣溫度。唯網溫室一旦連棟構築後，則原來之通風特性已消失，取而代之的為竟日之悶熱，如表 5 所示，一旦網室連棟後網室內室溫昇高至43.3℃，不論內外遮蔭處理，室溫亦高達40.2～40.3℃，但大氣溫度僅36.1℃，如此導致網室內相對濕度降至43.1～46.3%。換言之，網溫室一旦連棟後因通風不良造成陽光幅射無法散發，而使室溫上昇及相對濕度下降。所以，適合熱帶氣候之栽培溫室，應該以四周具通風性之單棟網溫室為宜，且最忌連棟構築。

表 4 張覆PE遮蔭網對網溫室內氣象因子之影響
Table 4. The microclimatic factors changes in the nethouse by the black PE net shading treatments.

網室條件	日照量（Klux）	室溫（℃）	相對濕度（%）
內遮蔭40%	71.4	37.4	50.1
外遮蔭40%	23.6	35.1	59.5
不遮蔭（對照）	89.6	37.2	48.6
網室外（對照）	120.0	36.5	58.7

註：測試時間為民國77年6月15日中午12點

表 5 張覆PE遮蔭網對六連棟網溫室內氣象因子之影響
Table 5. The microclimatic factors changes in the 6 connected nethouse by the black PE net shading treatments.

網室條件	日照量（Klux）	室溫（℃）	相對濕度（%）
內遮蔭40%	79.2	40.3	46.3
外遮蔭40%	24.9	40.2	45.6
不遮蔭（對照）	89.6	42.3	43.1
網室外（對照）	124.1	36.1	59.4

註：測試時間為民國 77 年 6 月 1 日中午 12 時

在台中農改場所開發之矮架組合式網溫室，與高架隧道式網溫室相比，如表 6 所示，其特性有三：⑴室內外溫差較小：不遮蔭時，矮架溫室內室溫比大氣溫多＋0.5～＋1.3℃，而對照則高至＋1.5～＋10.7℃。盛夏之際以40%黑色PE塑膠網行外遮蔭處理後，矮架溫室之室溫則比大氣多－1.0～＋2.0℃，而對照則高＋3.0～5.0℃。⑵室內外相對濕度差較小；與大氣RH

之相比，矮架溫室之RH差為－7.3%～＋5.6%，對照為－1.3%～＋3.4%。遮蔭後，矮架溫室之RH差為－1.3%～＋3.4%，而對照乃差至－7.4%～＋7.3%，因之，矮架溫室內較無結露之現象。(3)植物受光度較佳：未遮蔭前矮架溫室與對照間之入射照明度大略相似，為室外之65～90%，但遮蔭後，矮架溫室內植物之受光度為室外之35～40%，而對照則降至27～34%。換言之，矮架溫室內植物之受光度在24klux～45klux。

表 6 網室結構別對其微氣候之影響

Table 6. The microclimatic factors changes in different framework of nethouses.

項目	室溫（℃）			相對濕度（%）			入射日照量（Klux）		
	高架	矮架	對照	高架	矮架	對照	高架	矮架	對照
40%遮蔭	40.6	38.6		59.5	59.5		20.3	41.2	
			40.8			58.7			120.1
不遮蔭	41.6	40.3		48.6	49.8		89.6	100.0	

註：測定時間民國77年6月16日中午12時正，晴天

四、改良式動態浮根式水耕系統之特性

㈠較易維持養液溫度：

與舊型之平板式栽培床相比，由於改良型栽培床內有八條保利龍凸起之溝槽，而且溝內水位至少為4～5公分；又養液之灌排流程僅2.0公尺，因之，即使氣溫在35℃時，水溫仍能維持在28.0～29.1℃間，而舊型之對照則昇至30.2～34.5℃（表7）。

表 7 水耕系統別對35℃氣溫下養液溫度及溶氧量變化之差異

Table 7. Changes in the nutrient temperature and dissolved oxygen at 35°C in different DRF system.

動態浮根式水耕系統別	液溫（℃）	溶氧量（ppm） 靜水	灌液 落差	灌液 強制
舊型	28.0～29.1	4.46	5.31	6.63
新型	30.2～31.5	4.59	5.20	6.13

落差流量：0.4ℓ／分　強制流量：6.2ℓ／分

㈡溶氧量較高：

新型栽培床的特性之一為養液之灌排流程較短，此外進液時採用噴射灌液方式。因之，不論養液採用自然落差灌液方式或採用抽水幫浦強制灌液，溶氧量均比舊型之對照多6.5%～7.5%（表7）。

㈢根系較發達：

移植於改良型之栽培承板的蔬菜根系，由於其上方根系1.0公分左右之根系自然地曝露於濕空氣中，而且下方根系一旦與栽培床之凸槽接觸後，即沿著凸起處向下方伸長而形成倒V字型之氣根系（圖7），與舊型栽培床相比，25℃液溫時可促進青梗白菜之根部活性達21%及結球萵苣之根部活性達37%，至35℃液溫時，其對青梗白菜根部活性之促進效果達39.1%，而結球萵苣之根部活性更達53.9%（表8）。又，增加水耕植物之氣根系與增加水中之溶氧量，何者較具增產性呢？由圖12可知，在25℃液溫下，水耕之青梗白菜的地上部鮮重會隨養液中之溶

表 8 液溫及定植板別對青梗白菜及結球萵苣生育之影響

Table 8. Effects of nutrient temperature and panel structure on the growth of Pai-Tsai and head lettuce.

液溫	蔬菜別	地上部鮮重（公克／株）		根部活性（毫克CO_2／株，分）	
		新型板	舊型板	新型板	舊型板
25℃	青梗白菜	73.5	69.2	79.6	57.2
	萵苣	376.3	372.2	159.4	116.3
35℃	青梗白菜	59.1	50.5	59.4	43.7
	萵苣	242.2	227.4	119.6	77.7

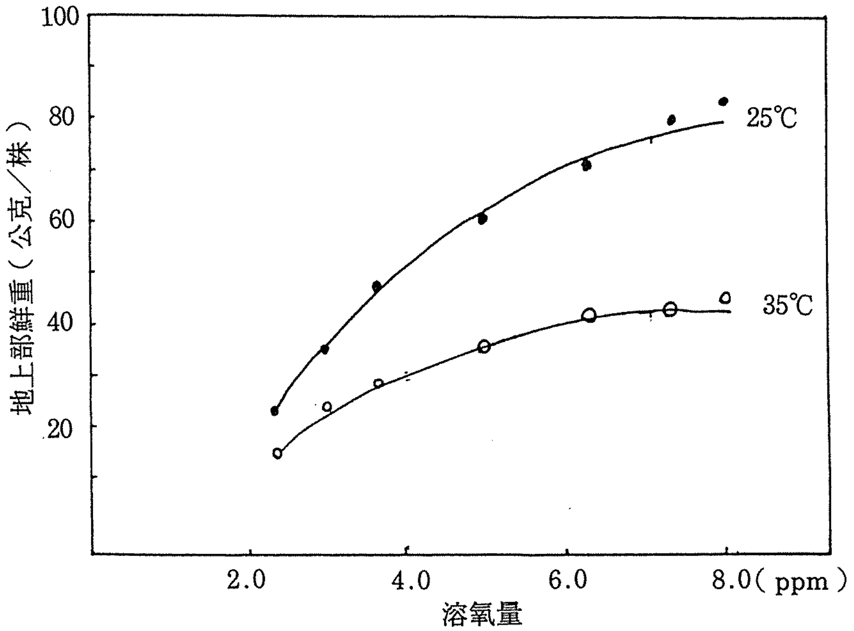

圖 12 液溫與溶氧量之交感效應對21天水耕青梗白菜生育之影響

Fig. 12. Effects of nutrient temperature and dissolved oxygen on the growth of Pai-Tsai.

氧量之上昇而增重，但至35℃時，養液中溶氧量之增加，雖亦有增產作用，但效果卻不顯著。圖12之試驗中，青梗白菜之根系係全部浸於養液中，因之，根系呼吸所需之氧氣全然依靠溶氧量多寡而定。但至35℃時，根系因高水溫而褐化，已無法正常生長，故增加溶氧量並無法改善其生長；倘若上方根系能曝露在濕空氣中，則尚可正常生長，換言之，氣根系之誘發技術當比用電力強制幫浦打氣來得有效。

㈣具豐產性：

在25℃時與舊型栽培床相比，在新型栽培床中，青梗白菜可增產6.2%，結球萵苣則增產1.1%。至35℃時，青梗白菜之增產率達17.0%而結球萵苣則增加6.5%（詳如表8）。

㈤需養液量較省：

在改良型之栽培床，由於具凹凸浪板特性，每單位栽培床最高養液裝載量僅105公升，比舊型之129.6公升可節省24.6公升；且以栽種一次青梗白菜為例，在氣溫35℃下，每1000㎡可節省7.7公噸之養液，而結球萵苣可節省11.1公噸之養液。

㈥耗電量較省：

由於改良型之栽培技術，改採用噴灌進液，因之每小時僅打3～5分，每日動作16次，因之每1000㎡每日耗電量僅10～12KWH，為舊型對照之半。

㈦造價便宜：

改良型之水耕設施每862.4㎡（19.78m×43.6m）之土地面積中可搭建2.13×19.8㎡之矮架溫室12間，其總栽種面積為506.1㎡，即土地使用面積達58.7%。又，每一間矮架溫室，包括內部栽培設施之造價為新台幣55,000元，再加上每6間設施共用之養液自動灌排系統需新台幣50,000元，因之，若以862.4㎡當作一單位水耕農場，則其設施成本之估算如下：55,000元×12＋50,000×2＝760,000元，為日本同類水耕設施構築費用之1／4～1／10。最特別地，本項水耕設施中個別網溫室之構築，係為獨立工程。即在經費不充裕或栽培技術尚未熟練前，農友可視經濟狀況構築一、二棟網溫室，假以時日再擴充之。

㈧設施結構簡單，施工及維修費用較低：

在改良型之動態浮根式系統中，由於網溫室採用矮架組合方式，因之，農友可依本場設計之圖樣及購得各項套件後，自行搭建之。國外水耕栽培系統或溫室之構築均屬專業技術，一向由私人之科技公司承包之，價位極高。本場舊型之水耕系統，在溫室構築上亦有相同之困難，尤其在本省尚無專業之溫室工程公司，坊間現有之水耕農場其網溫室大致由承包鐵架石棉瓦陰棚的私人企業社代工，而內部之水耕設施，則係沿用日本之溫帶型水耕技術。因之，不但構築費用高昂，而且由於缺乏農用設施之專門資材及知識，維修費用亦不低。台中區農改場的矮架水耕溫室，不論在構築方面，或爾後之維修方面，甚或日常屋頂塑膠布之清洗作業均可自行操作之。

㈨防蟲性佳：

利用高隧道式網溫室或力霸鋼架網溫室來栽培水耕蔬菜弊端之一為防蟲性不佳，而台中農改場新開發之矮架溫室，則採用單株日之作業，因之，一旦蔬菜移栽至栽培床上則四周立即以24目白色尼龍網封著，直到收獲日才再掀開，故栽培過程發生病蟲害之機率較低。甚至一旦某溫室在採收時發生嚴重病蟲害，也較易於進行獨棟之消毒作業。

參考文獻

1. 高德錚 1987 動態浮根式葉菜水耕栽培系統之評估 P77—94 第一屆設施園藝研討會專輯 台灣省農業試驗所出版
2. 高德錚 1987 設施園藝栽培技術之研究 造園季刊 1(4)：37—53
3. 高德錚 1988 精緻農業水耕栽培技術 P25—44 行政院青年輔導委員會出版
4. 山崎肯哉 1986 水耕栽培の魅力とリスクTHE水耕栽培 P40—46 富民協會每日新聞社出版
5. 山崎肯哉 1986 養液栽培技術の發展經過と今後の方向 農業および園藝 61：107—114
6. 花田俊郎 1987 東南アジアでの養液栽培 農業および園藝 62：135—140
7. Cooper, A. 1988 The Ariel System of NFT System, pp. 157–170, in Special Lectures Volumes of "Horticulture in High Technology Era", Held in May 10–11.
8. Resh, H. M. 1987 Hydroponic Food Production, pp. 120–152, Woodbridge Press Publishing Company.
9. Savage, A. J. 1985 Hydroponics Worldwide: State of the Art in Soilless Crop Production Published by: International Center for Special Studies, U.S.A.
10. Winsor, G. W., R. G. Hurd and D. Price 1985 Nutrient Film Technique. Grower's Bulletin No. 5, Published by: Glasshouse Crops Research Institute U.K.

討　　論

陳榮五（台東區農業改良場）問：

超級市場標榜水耕栽培的蔬果不噴灑農藥，是否完全無病蟲害？

高德錚（台中區農業改良場）答：

使用DRF之農戶，作物生育期短，不需要施用農藥，但採用DRF的農戶，從未標榜農林廳輔導，而僅是註明本身的標誌。

沈再發（鳳山分所）補充：

在作物選擇上很重要，葉菜類之萵苣類問題較少，白菜類問題較多。而蕹菜類生育期較短，農藥應沒有問題。

A NOVEL SYSTEM DESIGN STUDIES ON THE TROPICAL HYDROPONIC TECHNIQUE – AN IMPROVEMENT ON THE DRF HYDROPONIC SYSTEM –

Te-chen, Kao, Sheng-tien Chang, Tsair-sheng Hong and Schun-ling Liang

Associate Professor, Assistant, Field Technician, Field Technician,
Taichung District Agricultural Schun-ling Improvement Station

ABSTRACT

A novel design on the hydroponic technique i.e. dynamic root floating system (DRF system) was developped by the authors in 1986, in order to improve the vegetable quality and to stabilize the vegetable production in the summer season in Taiwan. However, it was not popular to be accepted owing to its high tech and cost. Moreover, the high cost is not only due to the initial cost of installation, but also due to the loss by typhoon, optional optional facilities of ventilation, cooling and insectproof system etc.. It is therefore, a 2-year studies is conducted to dissolve these troublesom problems. The advantage improvement is focused both on the nethouse structure and hydroponic system. The results were summarized in following:

I. Nethouse structure

1. The standard size of the nethouse is 2.13m (W) x 1.80m (H) x 7.2m (L). The length of the nethouse is able to enlarge to meet the demand of the grower's daily marketing capacity.
2. The framework of this nethouse is conducted by the ½″ϕ and ¾″ϕ of tubular steel pipe, which is easy to be self-made by the growers after a 2-day training.
3. A dew resistant PVC plastic sheet with 0.15–0.20 mm (T) is covered on the nethouse as a rainproof and a white PE plastic net with 24 meshes is held around the nethouse as a insectproof coall. When air temperature is higher than 30°C, a black PE plastic net with 40% shading rate is suggested to cover on the top of the roof.
4. The specificities of this nethouse structure are: (1) cheap in self-made constructure, (2) resistant to typhoon, (3) good for ventilation, (4) a little difference in CO_2 concentration, room temperature, relative humidity and light intensity as compared to those outside.

II. Hydroponic system

1. The culture bed is made by polystyrofoam by the standard size of 90.1 cm (L) x 88 cm (W) x 15 cm (D). It is a wave shape culture bed, plant seedlings are transplanting and held on the peak of the wave and nutrient is kept running on the valley of the wave, which allows a V shape aero-root on the apper root system to enhance the root activity, espically in 35°C of nutrient temperature.

2. The recycling nutrient flow path is running not more than 2.0 m. In other words, the nutrient is always supplied from one side of the nethouse, and quitly running through to the other side of the nethouse, then back to the underground tank.
3. A special design of the panel is also improve to offer 80 planting holes, and seedlings allow 84.1 cm^2 of free air space to reach more aero-root system.
4. The specifities of this culture system are: (1) constant level both in nutrient concentration and temperature, (2) enrich in dissolved oxygen, (3) good for air-root system developing, (4) low comsumption both in nutrient and electric power, (5) high productivity in a constant growth period.